

Innkraftwerk Egglfing-Obernberg Weiterbetrieb

Anlage 8.1 Erläuterungsbericht Stand sicherheitsuntersuchungen

Innkraftwerk Eggfling: Weiterbetrieb

Anlage 8.1: Erläuterungsbericht Standsicherheitsuntersuchungen

Inhaltsverzeichnis	Seite	
1	Verwendete Unterlagen	5
2	Vorgang / Bisherige Untersuchungen	7
2.1	Allgemeines	7
2.2	Staudamm Obernberg	7
3	Allgemeine Grundlagen	8
3.1	Aufbau des bestehenden Stauhaltungsdämme	8
3.1.1	Staudamm Eggfling	8
3.1.2	Staudamm Mühlheim	10
3.1.3	Staudamm Ache	11
3.2	Geologischer Aufbau	12
3.2.1	Allgemeines	12
3.2.2	Aufbau des Damm- bzw. Deichkörpers	12
3.2.3	Aufbau des Damm- bzw. Deichuntergrunds	12
3.3	Verwendete Bodenkennwerte	12
3.4	Normen	14
3.5	Berechnungsabschnitte / Berechnungsquerschnitte	14
3.5.1	Staudamm Eggfling	14
3.5.2	Staudamm Mühlheim	15
3.5.3	Staudamm Ache	16
4	Lastfälle	17
4.1	Übersicht der zu untersuchenden Lastfälle	17
4.2	Erläuterungen und Festlegungen zu einzelnen Lastfällen	17
4.2.1	Lastfall 1	17
4.2.2	Lastfall 2.1	17
4.2.3	Lastfall 2.1i	17
4.2.4	Lastfall 2.2	18
4.2.5	Lastfall 3.1 (Kronenstau)	19
4.2.6	Lastfall 3.2 (Schadstellen)	19
4.2.7	Verkehrslasten	20
5	Abflüsse und Wasserspiegellagen	21
5.1	Bemessungswasserspiegel	21
5.2	Freibord	21
5.3	Ermittlung des Wasserstandes im Lastfall „Kronenstau“	21
5.3.1	Windstau und Wellenauflauf	22
5.3.2	Mindestfreibord bei BHQ₂	22
5.3.3	Fließwellenhöhe	22
5.3.4	Maßgebender Wasserspiegel im Lastfall "Kronenstau"	24
6	Durchsickerungsberechnungen	24
6.1	Allgemeines	24
6.2	Ergebnisse Durchsickerungsberechnungen	25
7	Nachweise	25
7.1	Nachweise gegen Böschungsbruch	25
7.1.1	Allgemeines	25
7.1.2	Vorgehensweise der Berechnungen	25

7.1.3	Anpassungsmaßnahmen	26
7.1.4	Ergebnisse der Nachweise gegen Böschungsbruch	26
7.2	Nachweis gegen Gleiten	28
7.2.1	Berechnungsannahmen & Hinweise	28
7.2.2	Nachweisübersicht	29
7.3	Nachweise der Sicherheit gegen Materialtransport	29
7.3.1	Allgemeines	29
7.3.2	Suffosion innerhalb eines Erdstoffes	29
7.3.2.1	Eingangswerte	29
7.3.2.2	Ergebnisse und Nachweisübersicht	29
7.3.3	Nachweis der Sicherheit gegen Erosionsgrundbruch	30
7.3.3.1	Allgemeines	30
7.3.3.2	Ergebnisse	30
7.3.4	Nachweis der Sicherheit gegen Kontakterosion	30
7.4	Nachweis gegen Aufschwimmen der Deckschicht	31
7.4.1	Allgemeines	31
7.4.2	Ergebnisse	31
7.5	Nachweis der Sicherheit gegen hydraulischen Grundbruch	31
7.5.1	Allgemeines	31
7.5.2	Ergebnisse	32
8	Zusammenfassung	32

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 RQ 1 Staudamm Eggfing	8
Abbildung 2 RQ 2 Staudamm Eggfing	9
Abbildung 3 RQ 3 Staudamm Eggfing	9
Abbildung 4 RQ 1 Staudamm Mühlheim	10
Abbildung 5 RQ 2 Staudamm Mühlheim	10
Abbildung 6 RQ 1 Staudamm Ache	11
Abbildung 7 - Auszug aus Überschwemmungsgefahrenkarte für HQ_{extrem} [16].....	18
Abbildung 8 Schema zur Berücksichtigung von Fehlstellen in den Dichtungselementen	20
Abbildung 9 Verkehrslast für einen SLW 30	20
Abbildung 10 Fließgeschwindigkeiten [m/s] Stauraum Eggfing-Obernberg, BHQ_2	23
Abbildung 11 Fließgeschwindigkeiten [m/s] Staudamm Eggfing, BHQ_2	23
Abbildung 12 Auswertungen TU-München zu Fließwellen an bayerischen Flüssen.....	24
Abbildung 13 Istzustand Mühl-4, Lastfall 1	27
Abbildung 14 Sanierung Staudamm Mühlheim 1999	27

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Beurteilung der Standsicherheit der Anlagen in Deutschland gemäß [2] Fehler! Textmarke nicht definiert.	
Tabelle 2 Beurteilung der Standsicherheit der Anlagen in Österreich gemäß [2] ... Fehler! Textmarke nicht definiert.	
Tabelle 3 Staudamm Ering, Übersicht Baumaßnahmen seit 1996.....	9
Tabelle 4 Verwendete Bodenkennwerte der Bestandsbodenschichten	13
Tabelle 5 Verwendete Bodenkennwerte für Anpassungsmaßnahmen	13
Tabelle 6 Tabelle 5 aus [8].....	30

1 Verwendete Unterlagen

- [1] Standsicherheitsuntersuchungen Stauhaltungsdämme Innstauufen Ering / Eggfing (Projekt 13151); SKI GmbH + Co.KG, München, April 2012
- [2] Standsicherheitsuntersuchungen Stauhaltungsdämme Innstauufen Ering / Eggfing (Projekt 13153); SKI GmbH + Co.KG, München, Oktober 2014
- [3] IB Aquasoli – Wasserspiegellagen, 2016
(160607_EGF_Auswertung_Hochwassersohle.xls und
160607_EGF_Auswertung_MAche.xls); übergeben am 07.06.2014 durch Herrn Dr.
Schmalfuß.
- [4] Standsicherheitsuntersuchungen Stauhaltungsdämme Innstauufen Ering -
Frauenstein (Projekt 54461); SKI GmbH + Co.KG, München, Februar 2016
- [5] IB für Geotechnik Prof. Dr.-Ing. C. Slominski – Ergebnisse der Laborversuche
Sanierung Deichstauanlage Ering / Eggfing, übergeben am 16.10.2013.
- [6] DIN 1054:2010 Baugrund - Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau, Beuth
Verlag GmbH, Berlin, Dezember 2010.
- [7] Bayerisches Landesamt für Umwelt – Merkblatt Nr. 5.2/5 (Stand 01.04.2009)
Staugeregelte Flüsse - Anlagensicherheit und Hochwasserschutz, Nachweis und
Lastfälle nach DIN 19700 und DIN 19712.
- [8] DWA Merkblatt M507-1: Deich an Fließgewässern Teil1: Planung, Bau und
Betrieb, DWA, Hennef, Dezember 2011.
- [9] BAW Merkblatt "Standsicherheit von Dämmen an Bundeswasserstraßen (MSD),
Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe, 2011
- [10] Handbuch Eurocode 7, Geotechnische Bemessung Band 1: Allgemeine Regeln,
DIN Deutsches Institut für Normung, Beuth Verlag GmbH, Berlin, April 2011.
- [11] Protokoll zur Festlegung des Lastfalls Kronenstau, Standsicherheitskonzept Ering
Eggfing, München-Pasing, 04.08.2014.
- [12] Vorschlag für die Ermittlung des Freibords bei Deichen, Dienstbesprechung
„Staatlicher Wasserbau Gewässer erster Ordnung, Herbert Weiß, Ingolstadt,
September 2003 (unveröffentlicht).
- [13] Hydraulische Sicherheit von Staudämmen, Peter Muckenthaler ,Bericht Nr. 61 vom
Institut für Wasserbau und Wassermengenwirtschaft und Versuchsanstalt für
Wasserbau Oskar v. Miller Institut in Oberrach Technische Universität München,
1989.
- [14] DIN 19712:2013-01 Hochwasserschutzanlagen an Fließgewässern, Beuth Verlag
GmbH, Berlin, 2013.
- [15] DIN 19700:2004-07, Stauanlagen - Teil 13: Staustufen, Beuth Verlag GmbH,
Berlin, 2004.
- [16] IÜG: informationsdienst Überschwemmungsgefährdete Gebiete, Bayerisches
Landesamt für Umwelt, 2016
- [17] Geotechnischer Bericht zur Anpassung der Stauhaltungsdämme an der
Innstauufe, Eggfing-Obernberg, IFB Eigenschenk GmbH, Deggendorf, 2016

- [18] Deich oder Stauhaltungsdamm? Interpretationsprobleme bei der Anwendung der DIN 19700 Ausgabe 2004, Strobl, Th., Haselsteiner, R., DWA Tagung Regensburg, Juni 2008.

2 Vorgang / Bisherige Untersuchungen

2.1 Allgemeines

Im den Jahren 2012 und 2014 wurden durch das Ingenieurbüro SKI GmbH + Co.KG im Auftrag der e.on. Wasserkraft GmbH [1] und der Innwerk AG [2] Standsicherheitsuntersuchungen für Dammanlagen im Rückstau der Staustufen Ering und Eggfing durchgeführt. Die Untersuchungen zeigten, dass die Standsicherheit gemäß der neuen Anforderungen der DIN 19700 an den Dammanlagen der Staustufe Eggfing Standsicherheitsdefizite auf Grundlage des damaligen Wissenstandes nicht nachgewiesen werden konnte.

Im Oktober 2016 wurden daher an den Stauanlagen ergänzend zu den bereits vorhandenen Baugrundaufschlüssen 22 (12 am Eggfing Damm, 7 am Mühlheimer Damm und 3 am Acher Damm) weitere Schürfen im Bereich des luftseitigen Dammfußes durchgeführt. Die Lage der Schürfe wurde dabei so gewählt, dass zusammen mit den vorhandenen Aufschlüssen der Bodenaufbau an allen Anlagen mindestens im Abstand von 200 m bekannt ist. Da die vorrangegangenen Untersuchungen gezeigt haben, dass die Auelehmschicht unter dem Dammkörper einen besonders großen Einfluss auf die Standsicherheit hat, wurde bei den Schürfen ein besonderes Augenmerk auf die Lage und Mächtigkeit dieser Schicht gelegt.

Der folgende Ergebnisbericht zu den Standsicherheitsuntersuchungen baut auf den Ergebnissen der oben genannten Untersuchungen auf. Um speziell aus ökologischer Sicht die Anpassungsmaßnahmen auf das wirklich erforderliche Maß zu reduzieren, werden aufbauend auf den ergänzend durchgeführten Baugrunduntersuchungen die Berechnungsabschnitte weiter unterteilt. Alle Randbedingungen, Eingangsgrößen, Berechnungen und Ergebnisse werden nachfolgend beschrieben.

2.2 Staudamm Obernberg

Im Jahr 2014 wurde durch das Ingenieurbüro SKI GmbH + Co.KG im Auftrag der Innwerk AG [2] eine Standsicherheitsuntersuchung für Dammanlagen im Rückstau der Staustufen Ering und Eggfing durchgeführt.

Im Rahmen dieser Untersuchungen konnte die normgerechte Standsicherheit des Staudamms Obernberg nachgewiesen werden. Anpassungsmaßnahmen sind somit am Staudamm Obernberg nicht erforderlich.

Die Standsicherheitsuntersuchung [2] liegt diesem Bericht auszugsweise in Anlage 8.13 bei. Die vollständigen Unterlagen können beim Antragsteller, der Innwerk AG eingesehen werden.

3 Allgemeine Grundlagen

3.1 Aufbau des bestehenden Stauhaltungsdämme

3.1.1 Staudamm Eggfing

Abbildung 1 bis Abbildung 3 zeigen den Regelaufbau des Eggfing Staudamms, der auf seiner gesamten Länge von ca. 10,4 km durch drei Geometrietypen (Regelquerschnitte, RQ) zu unterscheiden ist. Ein Längsschnitt mit Darstellung der Höhenverläufe der einzelnen Dammbestandteile, Wasserspiegel und Schichten des Dammuntergrunds befindet sich in Anlage 8.3.1, ein entsprechender Lageplan in Anlage 8.2.

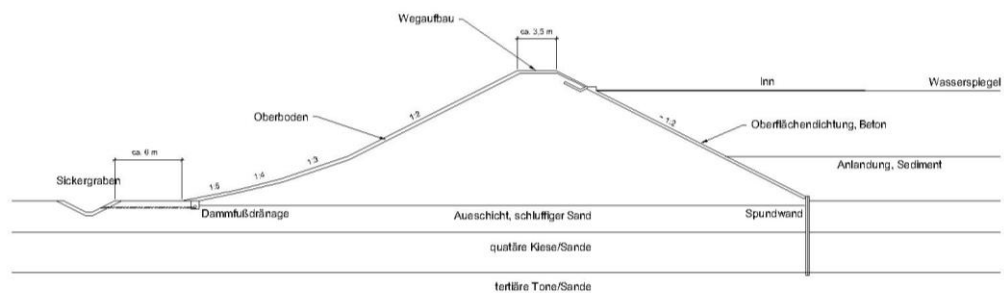
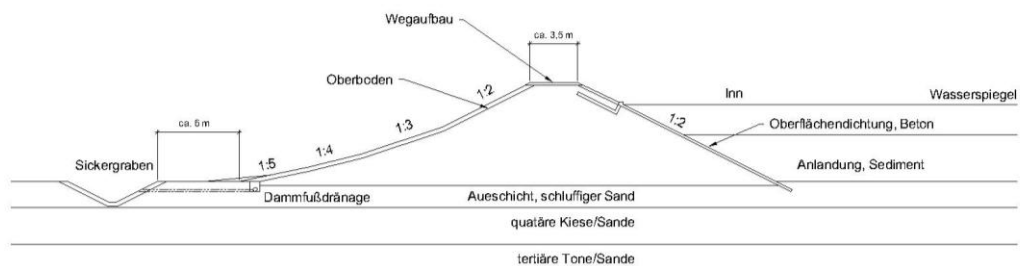


Abbildung 1 RQ 1 Staudamm Eggfing

Der Staudamm Eggfing RQ 1 weist folgenden Regelaufbau auf:

- Kronenbreite 3,5 m;
- luftseitige Böschungsneigung: 1: 2 unter Krone bis; 2 m 1: 3 bis; 1 m 1: 4 bis; 1 m 1:5 bis GOK
- wasserseitige Böschungsneigung: 1: 2 bis OK-Dichtung; darunter 1: 2;
- wasserseitige Betonoberflächendichtung mit anschließender Untergrundabdichtung (Spundwand) mit Einbindung in das Tertiär;
- Längsdrainage am luftseitigen Böschungsfuß mit eingebaute Teilsickerrohrleitung;
- Sickerwassergraben im Abstand von ca. 6 m vom luftseitigen Böschungsfuß mit einer 30 cm dicken Kiesandeckung in der Sohle und den Böschungen.



Der Staudamm Egglfing RQ 2 weist folgenden Regelaufbau auf:

- Kronenbreite 3,5 m;
- luftseitige Böschungsneigung: 1: 2 unter Krone bis; 2 m 1: 3 bis; 1 m 1: 4 bis; 1 m 1:5 bis GOK
- wasserseitige Böschungsneigung: 1: 2 bis OK-Dichtung; darunter 1: 2;
- wasserseitige Betonoberflächendichtung, Dichtung oberhalb der Wellenbrecher zurückversetzt eingebaut;
- Längsdrainage am luftseitigen Böschungsfuß mit eingebaute Teilsickerrohrleitung;
- Sickerwassergraben im Abstand von ca. 6 m vom luftseitigen Böschungsfuß mit einer 30 cm dicken Kiesandeckung in der Sohle und den Böschungen.

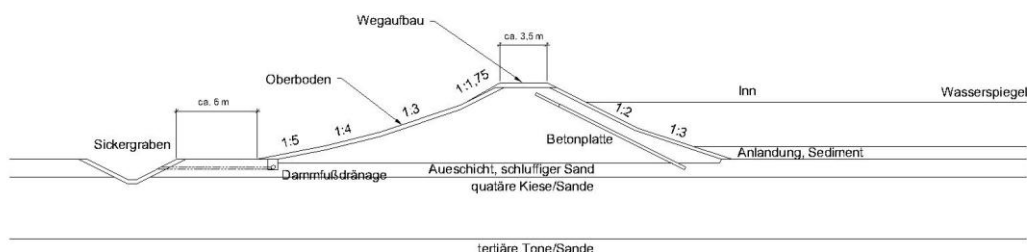


Abbildung 3 RQ 3 Staudamm Egglfing

Der Staudamm Egglfing RQ 3 weist folgenden Regelaufbau auf:

- Kronenbreite 3,5 m;
- luftseitige Böschungsneigung: 1: 2 teils 1:1,75 unter Krone bis; 2 m 1: 3 bis; 1 m 1: 4 bis; 1 m 1:5 bis GOK
- wasserseitige Böschungsneigung: 1: 2 bis OK-Dichtung; darunter 1: 2;
- wasserseitige zurückgesetzte Betonoberflächendichtung;
- Längsdrainage am luftseitigen Böschungsfuß mit eingebaute Teilsickerrohrleitung;
- Sickerwassergraben im Abstand von ca. 6 m vom luftseitigen Böschungsfuß mit einer 30 cm dicken Kiesandeckung in der Sohle und den Böschungen.

Die Tabelle 1 gibt einen Überblick über standsicherheitsrelevante Baumaßnahmen die innerhalb der letzten 20 Jahre durchgeführt wurden.

Tabelle 1 Staudamm Ering, Übersicht Baumaßnahmen seit 1996

Maßnahme	Bereich	Firma	Jahr
Dammerhöhung und Dichtungsverlängerung	Fkm 35,3 - 48,4	Eigenleistung (Bayernwerk Wasserkraft)	1997
Einbau Dammfußdrainage (Rohrleitung)	Fkm 35,3 - 45,6	Arcadis (Planung)	2002

Neuer Sickergraben	Fkm 42,5 - 43,0	Klaus Schillhuber (Vermesser)	2005
--------------------	--------------------	----------------------------------	------

3.1.2 Staudamm Mühlheim

Abbildung 4 bis Abbildung 5 zeigen den Regelaufbau des Mühlheimer Staudammes, der auf seiner gesamten Länge von ca. 4,5 km durch zwei Geometriertypen (Regelquerschnitte, RQ) zu unterscheiden ist. Ein Längsschnitt mit Darstellung der Höhenverläufe der einzelnen Dammbestandteile, Wasserspiegel und Schichten des Dammuntergrunds befindet sich in Anlage 8.3.2, ein entsprechender Lageplan in Anlage 8.2.

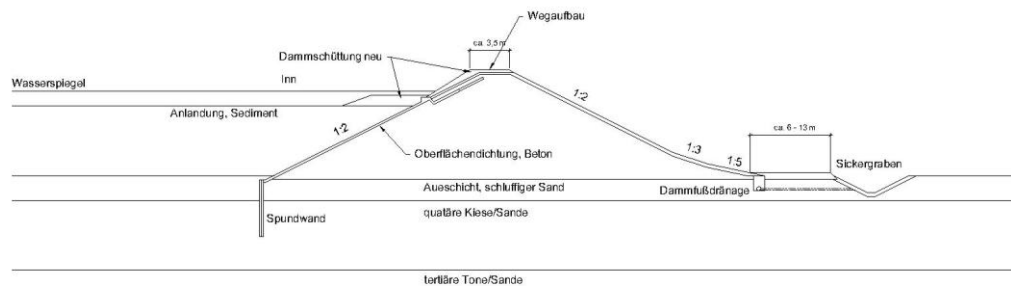


Abbildung 4 RQ 1 Staudamm Mühlheim

Der Staudamm Mühlheim RQ 1 weist folgenden Regelaufbau auf:

- Kronenbreite 3,5 m;
- luftseitige Böschungsneigung: 1: 2 unter Krone bis; 1 m 1: 3 bis; 1 m 1: 5 bis GOK
- wasserseitige Böschungsneigung: 1: 2 bis OK Vorlandweg;
- wasserseitige Betonoberflächendichtung mit anschließender Untergrundabdichtung (Spundwand) mit Einbindung in das Tertiär; Dichtung oberhalb der Wellenbrecher zurückversetzt eingebaut;
- Vorlandweg über alte Wellenbrecher eingebaut;
- Längsdrainage am luftseitigen Böschungsfuß mit eingebaute Teilsickerrohrleitung;
- Sickerwassergraben im Abstand von zwischen 6 m und 13 m vom luftseitigen Böschungsfuß mit einer 30 cm dicken Kiesandeckung in der Sohle und den Böschungen.

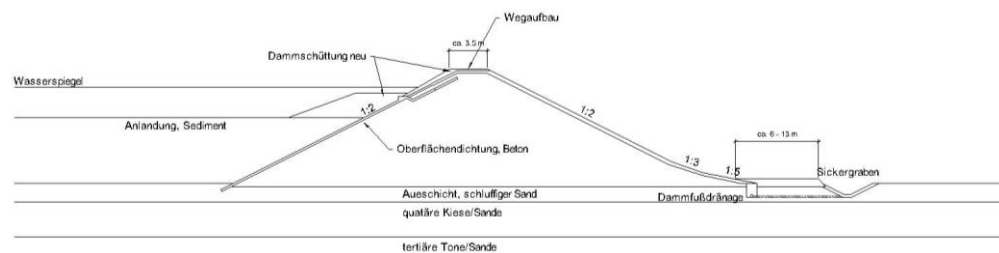


Abbildung 5 RQ 2 Staudamm Mühlheim

Der Staudamm Mühlheim RQ 2 weist folgenden Regelaufbau auf:

- Kronenbreite 3,5 m;
- luftseitige Böschungsneigung: 1: 1,75 unter Krone bis; 1 m 1: 3 bis; 1 m 1: 5 bis GOK
- wasserseitige Böschungsneigung: 1: 2 bis OK Vorlandweg;
- wasserseitige Betonoberflächendichtung, Dichtung oberhalb der Wellenbrecher zurückversetzt eingebaut;
- Vorlandweg über alte Wellenbrecher eingebaut;
- Längsdrainage am luftseitigen Böschungsfuß mit Quersickerung im Abstand von 20m mit eingebaute Teilsickerrohrleitung;
- Sickerwassergraben im Abstand von zwischen 6 m und 13 m vom luftseitigen Böschungsfuß mit einer 30 cm dicken Kiesandeckung in der Sohle und den Böschungen.

3.1.3 Staudamm Ache

Abbildung 6 zeigt den Regelaufbau des Acher Staudammes, der auf seiner gesamten Länge von ca. 1,2 km durch einen Geometriotyp (Regelquerschnitt, RQ) gekennzeichnet ist. Ein Längsschnitt mit Darstellung der Höhenverläufe der einzelnen Dammbestandteile, Wasserspiegel und Schichten des Dammuntergrunds befindet sich in Anlage 8.3.2, ein entsprechender Lageplan in Anlage 8.2.

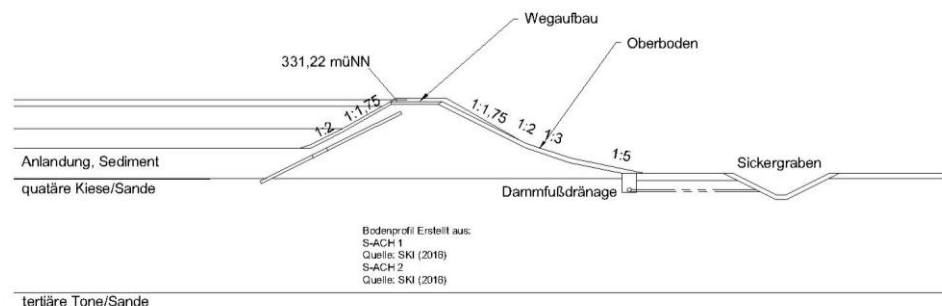


Abbildung 6 RQ 1 Staudamm Ache

Der Staudamm Ache RQ 1 weist folgenden Regelaufbau auf:

- Kronenbreite 3,5 m;
- luftseitige Böschungsneigung: 1: 1,75 unter Krone bis; 1 m 1: 3 bis; 1 m 1: 5 bis GOK
- wasserseitige Böschungsneigung: 1: 2 bis OK Vorlandweg;
- zurückversetzte wasserseitige Betonoberflächendichtung;
- Längsdrainage am luftseitigen Böschungsfuß mit Quersickerung im Abstand von 20m mit eingebaute Teilsickerrohrleitung;
- Sickerwassergraben im Abstand von zwischen 6 m und 13 m vom luftseitigen Böschungsfuß mit einer 30 cm dicken Kiesandeckung in der Sohle und den Böschungen.

3.2 Geologischer Aufbau

3.2.1 Allgemeines

Der Bodenaufbau wird aus vorhandenen Baugrundaufschlüssen aus der Zeit des Baus der Anlagen sowie mehreren zwischenzeitlich im Rahmen verschiedener Sanierungsmaßnahmen durchgeführten Untersuchungen entnommen.

Ergänzend wurden im Rahmen der Untersuchungen in [1] und [2] für die hier beschriebene Planung nochmals 12 Schürfen entlang des luftseitigen Dammfußes durchgeführt.

Alle geotechnischen Grundlagen sind in Anlage 8.4 zusammenfassend dargestellt.

Nachfolgend wird ein Überblick über den Aufbau des Damm- bzw. Deichkörpers sowie des Dammuntergrunds gegeben.

3.2.2 Aufbau des Damm- bzw. Deichkörpers

Die Stauhaltungsdämme und Deiche bestehen überwiegend aus sandigem Kies und Grobkies der größtenteils mitteldicht gelagert ist.

3.2.3 Aufbau des Damm- bzw. Deichuntergrunds

Unterhalb des Dammkörpers befindet sich eine unterschiedlich mächtige Aueschicht. Abschnittsweise wird die Auelehmschicht durch die Sickerwassergräben durchstoßen. Die darunter liegenden quartären Kiese und Sande sind überwiegend locker bis mitteldicht gelagert und weisen eine Mächtigkeit von mehreren Metern auf. Die tiefer liegenden tertiären Bodenschichten (Flinz) bestehen überwiegend aus Feinsand und sind mit zunehmender Tiefe erst mitteldicht dann aber schnell dicht bis sehr dicht gelagert.

3.3 Verwendete Bodenkennwerte

Sofern Bodenkennwerte aus früheren Untersuchungen vorliegen, werden diese sofern sie plausibel erscheinen angesetzt.

Zur Bestimmung der für die Standsicherheitsberechnungen bedeutsamen Bodenkennwerte der Auelehmschicht wurden in [1] 20 Baggerschürfe durchgeführt und aus jedem Schurf zwei ungestörte Zylinderproben entnommen. Diese wurden anschließend an das Ingenieurbüro für Geotechnik von Prof. Dr.-Ing. Slominski [4] (bzw. Anlage 8.4.2) für folgende Untersuchungen übergeben:

- Bodenansprache nach DIN 4022 bzw. DIN EN ISO 14688-1 und -2
- Sieb- bzw. Schlämmanalyse nach DIN 18123
- Scherversuch nach DIN 18137-3

Ergänzend zu den bereits vorhandenen Baugrundaufschlüssen wurden in 2016 an den Stauanlagen 22 (12 am Eggfingerring Damm, 7 am Mühlheimer Damm und 3 am Damm Ache) weitere Schürfen im Bereich des luftseitigen Dammfußes durchgeführt. Daraus erfolgte in [17] (bzw. Anlage 8.4.3):

- Bodenansprache nach DIN 4022 bzw. DIN EN ISO 14688-1 und -2
- 8 Bestimmungen der Korngrößenverteilung durch kombinierte Sieb- bzw. Schlämmanalyse nach DIN 18123
- 26 Bestimmungen der Korngrößenverteilung nach DIN 18123 durch Nasssiebung

Die bei den Standsicherheitsuntersuchungen verwendeten Bodenkennwerte sind in den nachfolgenden Tabellen (Tabelle 2 und Tabelle 3) zusammengestellt.

Tabelle 2 Verwendete Bodenkennwerte der Bestandsbodenschichten

Schicht	γ	γ'	φ'	c'	$k_{f,h}$ $k_{f,v}$	Quelle
	[kN/m ³]	[kN/m ³]	[°]	[kN/m ²]	[m/s]	
Wegaufbau, Krone	22	13	40	0	$1,0 \cdot 10^{-3}$	[4]
Wegeaufbau, Hinterweg	20	10	32,5	0	$1,0 \cdot 10^{-5}$	[4]
Oberboden	17	8	20	5	nicht angesetzt	[4]
Deich- /Dammkörper	19	10	35	0	$1,0 \cdot 10^{-3}$	[4]
Dammerhöhung (Bestand)	20	10	35	0,0	$1,0 \cdot 10^{-3}$	[4]
Oberflächendichtung, Beton	25	15	45	30	$1,0 \cdot 10^{-8}$	[4]
Spundwand	25	15	45	100	$1,0 \cdot 10^{-7}$	[4]
Anlandung, Sediment	15	7	20	0	$2,0 \cdot 10^{-5}$ $1,0 \cdot 10^{-5}$	[4]
Aueschicht, schluffiger Feinsand	18	10	26	0	$2,5 \cdot 10^{-5}$	[4]
quartäre Kiese/Sande (GW-Leiter)	20	10	32,5	0	$1,5 \cdot 10^{-3}$ $1,5 \cdot 10^{-4}$	[4]
tertiäre Tone/Sande („Flinz“)	20	11	27,5	0	$1,0 \cdot 10^{-7}$	[4]
Drainagekörper	20	11	35	0	$5,0 \cdot 10^{-2}$	[4]
Kiesandeckung Sickergraben	20	11	35	0	$5,0 \cdot 10^{-2}$	[4]
Defekte Dränage Fehlstelle	Werte variieren in Abhängigkeit der anliegenden Bodenschichten, siehe Festlegungen im Lastenheft (Anlage 8.5) sowie Sickerlinien- und Böschungsbruchberechnungen in den Anlagen 8.7 und 8.8.					

Tabelle 3 Verwendete Bodenkennwerte für Anpassungsmaßnahmen

Schicht	γ	γ'	φ'	c'	$k_{f,h}$ $k_{f,v}$
	[kN/m ³]	[kN/m ³]	[°]	[kN/m ²]	[m/s]
Wegaufbau, Hinterweg - Anpassung	20	10	32,5	0	$1,0 \cdot 10^{-5}$
Wegaufbau, Krone - Anpassung	22	13	40	0	$1,0 \cdot 10^{-3}$

3.4 Normen

Die geotechnischen Nachweise werden gemäß DIN EN 1997-1:2009-09 Eurocode 7:Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik - Teil 1: Allgemeine Regeln einschließlich des nationalen Anhangs DIN EN 1997-1/NA:2010-12 und der DIN 1054:2010 Baugrund - Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau - Ergänzende Regeln zu DIN EN 1997-1 unter Berücksichtigung der im LfU-Merkblatt Nr. 5.2/5 [7] definierten Lastfälle geführt.

3.5 Berechnungsabschnitte / Berechnungsquerschnitte

Die Berechnungsab- bzw. querschnitte für die Standsicherheitsuntersuchungen werden aufbauend auf den in Kap. 3.1 beschriebenen Bestandsquerschnitten unter Berücksichtigung der geologischen Verhältnisse und der nachfolgend aufgeführten Annahmen und Randbedingungen festgelegt.

- Mindestens 1 Rechenquerschnitt (RQ) je vorhandenen Bestandsregelquerschnitt.
- Es erfolgt i.d.R. keine Superponierung der Querschnittgeometrie d.h., es werden reale Querschnitte berechnet (Vermeidung unnötiger Maßnahmen zur Gewährleistung der Standsicherheit).
- Grundlage für die Höhenlage der Innsohle ist eine Flusspeilung aus dem Jahr 2010 oder OK Gelände aus dem Laserscan.
- Im jeweiligen Querschnitt werden die ungünstigsten Bodenschichtungen des Berechnungsabschnittes angesetzt (z.B. maximale Dicke der Auelehmschicht).
- Führen die Lastfälle BHQ₂ oder Kronenstau zu einer Überströmung der Oberflächendichtung, wird im jeweiligen Bereich die ungünstigste Wasserspiegellage mit der ungünstigste Dammhöhe kombiniert.

3.5.1 Staudamm Eggfing

Für die Standsicherheitsnachweise werden für den Staudamm Eggfing folgenden Berechnungsquerschnitte (BQ) erstellt.

BQ-SD-EGG-1	Gültigkeit: DKM: 0+000 - 5+691 und 6+733 - 6+937 (größte Dammhöhe des Abschnitts (1.1), UK Auelehmschicht oberhalb der Sickergrabensohle) BQ: 0+624 bzw. 35.929 BQ Dammhöhe = 9,4 m (Hinterweg = 318,81 , Dammkrone = 328,21)
BQ-SD-EGG-2	Gültigkeit: DKM: 5+691 - 6+733 und 6+937 - 9+783 (größte Dammhöhe des Abschnitts (1.2), UK Auelehmschicht oberhalb der Sickergrabensohle) BQ: 8+162 bzw. 43.632 BQ Dammhöhe = 5,76 m (Hinterweg = 324,68 , Dammkrone = 330,43)
BQ-SD-EGG-3	Gültigkeit: DKM: 9+783 - 10+500

	(größte Dammhöhe des Abschnitts (1.3), Auelehmschicht oberhalb des Sickergrabens) BQ: 9+894 bzw. 45.349 BQ Dammhöhe = 5,33 m (Hinterweg = 326,60 , Dammkrone = 331,94)
BQ-SD-EGG-4	Gültigkeit: DKM: 0+306 - 0+501 (größte Dammhöhe für den Bereich wobei der UK der Auelehmschicht unterhalb der Sickergrabensohle liegt) BQ: 0+306 bzw. 35.600 BQ Dammhöhe = 9,3 m (Hinterweg = 318,58 , Dammkrone = 327,88)
BQ-SD-EGG-5	Gültigkeit: DKM: 6+733 - 6+937 (größte Dammhöhe für den Bereich wobei der UK der Auelehmschicht unterhalb der Sickergrabensohle liegt) BQ: 6+937 bzw. 42.402 BQ Dammhöhe = 5,00 m (Hinterweg = 324,71 , Dammkrone = 329,71)
BQ-SD-EGG-6	Gültigkeit: DKM: 0+894 - 5+691 (größte Dammhöhe für den Bereich wobei eine dicke Auelehmschicht am GOK liegt) Geometrie und WSP aus DKM: 1+093 Auelehmschichtdicke aus DKM: 2+692 BQ Dammhöhe = 8,50 m (Hinterweg = 319,59 , Dammkrone = 328,09)
BQ-SD-EGG-7	Gültigkeit: DKM: 5+691 - 6+733 und 6+937 - 9+783 (dickste Auelehmschicht des Abschnitts (1.2)) Geometrie und WSP aus BQ-SD-EGG-2 Auelehmschichtdicke aus DKM: 9+000
BQ-SD-EGG-8	Gültigkeit: DKM: 9+783 - 10+500 (dickste Auelehmschicht des Abschnitts (1.3)) Geometrie und WSP aus BQ-SD-EGG-3 Auelehmschichtdicke aus DKM: 10+118
BQ-SD-EGG-9	Gültigkeit: DKM: 8+818 - 9+920 (Überströmung der Oberflächendichtung bei BHQ ₂) Geometrie aus 9+690 WSP aus DKM: 9+536, max. Überströmungstiefe (BHQ ₂ = 13 cm, Kronenstau = 58 cm) Geologie aus DKM: 9+000

Die entsprechenden Berechnungsquerschnitte sind in Anlage 8.2 dargestellt.

3.5.2 Staudamm Mühlheim

Für die Standsicherheitsnachweise werden für den Staudamm Mühlheim folgenden Berechnungsquerschnitte (BQ) erstellt.

- BQ-SD-MÜHL-1 Gültigkeit: DKM: 0+000 - 0+830 und 1+200 - 1+375 und 3+700 - 3+805
(größte Dammhöhe des Abschnitts (3.1) bzw. Regelquerschnitt 1)
BQ: 0+179 bzw. 40,209
BQ Dammhöhe = 7,3 m (Hinterweg = 321,76 , Dammkrone = 329,05)
- BQ-SD-MÜHL-2 Gültigkeit: DKM: 0+830 - 1+200 und 1+375 - 3+700 und 3+805 - 5+000
(größte Dammhöhe des Abschnitts (3.2) bzw. Regelquerschnitt 2)
BQ: 1+190 bzw. 41,057
BQ Dammhöhe = 6,6 m (Hinterweg = 322,70 , Dammkrone = 329,26)
- BQ-SD-MÜHL-3 Gültigkeit: DKM: 2+100 - 2+550 und 3+500 - 3+600
(größte Dammhöhe für den Bereich wobei der UK der Auelehmschicht unterhalb der Sickergrabensohle liegt)
BQ: 2+159 bzw. 41,963
BQ Dammhöhe = 5,4 m (Hinterweg = 323,96 , Dammkrone = 329,32)
- BQ-SD-MÜHL-4 Gültigkeit: DKM: 0+000 - 0+830 und 1+200 - 1+375 und 3+700 - 3+805
(dickste Auelehmschicht des Abschnitts (3.1))
Geometrie und WSP aus BQ-SD-MÜHL-1
Geologie aus DKM: 1+337
- BQ-SD-MÜHL-5 Gültigkeit: DKM: 0+830 - 1+200 und 1+375 - 3+700 und 3+805 - 5+000
(dickste Auelehmschicht des Abschnitts (3.2))
Geometrie und WSP aus BQ-SD-MÜHL-2
Geologie aus DKM: 2+102
- BQ-SD-MÜHL-6 Gültigkeit: DKM: 2+272 - 2+581 und 4+440 - 5+000
(Überströmung der Oberflächendichtung bei BHQ2)
Geometrie und Geologie aus Dkm: 2+575
WSP aus Dkm: 5+000, max. Überströmungstiefe (BHQ₂ = 19 cm, Kronenstau = 64 cm)

Die entsprechenden Berechnungsquerschnitte sind in Anlage 8.2 dargestellt.

3.5.3 Staudamm Ache

Für die Standsicherheitsnachweise werden für den Staudamm Ache folgenden Berechnungsquerschnitte (BQ) erstellt.

Größte Dammhöhe des Abschnitts (4.1) bzw. Regelquerschnitt 1 - Entfällt
(Kombination mit max. Überströmung ist maßgebend)

Größte Dammhöhe für den Bereich wobei der UK der Auelehmschicht unterhalb der
Sickergrabensohle liegt - Entfällt
(Dammhöhe in diesem Bereich ist wesentlich kleiner, Auelehmschicht liegt tiefe unter
GOK)

Dickste Auelehmschicht des Abschnitts (4.1) - Entfällt
(Dammhöhe in diesem Bereich ist wesentlich kleiner, Auelehmschicht liegt tiefe unter
GOK)

BQ-SD-ACH-1 Gültigkeit: DKM: 4+910 - 5+681
 (Überströmung der Oberflächendichtung bei BHQ₂)
 Geometrie und Geologie aus Dkm: 5+129
 WSP aus Dkm: 5+129 (Zs, und BHQ₁) und 5+200, (max.
 Überströmungstiefe, BHQ₂ = 35 cm, Kronenstau = 80 cm)

Die entsprechenden Berechnungsquerschnitte sind in Anlage 8.2 dargestellt.

4 Lastfälle

4.1 Übersicht der zu untersuchenden Lastfälle

Die Nachweise werden gemäß der im LfU-Merkblatt Nr. 5.2/5 [7] angegebenen Lastfällen
durchgeführt. Das entsprechende Lastenheft befindet sich in Anlage 8.5.

4.2 Erläuterungen und Festlegungen zu einzelnen Lastfällen

4.2.1 Lastfall 1

Der Lastfall 1 ist für Flussdeiche nur nachzuweisen, wenn gleichzeitig permanente
Nutzungen der Flussdeiche, z.B. durch Verkehrswege vorliegen.

Aufgrund der durchgehenden Betriebswege auf den Deichkronen, wird der Lastfall 1
auch für die definitionsgemäßen Deichabschnitte nachgewiesen.

4.2.2 Lastfall 2.1

Bei Flussdeichen gilt als Stauziel der jeweilige Bemessungshochwasserstand BHW. Der
Bemessungshochwasserstand BHW entspricht dem BHQ₁ (LF 2.1a). Aufgrund der
direkten Anschlüsse zu den Stauhaltungsdämmen, wird der Nachweis für BHQ₂ bei den
definitionsgemäß als Deiche einzustufenden Anlagen ebenfalls geführt (LF 2.1b).

4.2.3 Lastfall 2.1i

Der Lastfall 2.1 i beschreibt den Rückstau des Inns am Staudamm Eggfling (am
Staudamm Obernberg ist kein Rückstau zu erwarten), aufgrund von Ausuferungen im
Unterwasser der Staustufe. Aufgrund der vorhandenen hochwasserfreien Zufahrtstraßen

zum Kraftwerk Eggfing erfolgt der Rückstau in das Hinterland zeitverzögert über vorhandene Durchlässe unter den Zufahrtstraßen. Der Rückstau erstreckt sich bis ca. Station 4+300 des Eggfing Dammes (siehe Abbildung 7).

Zwischen Station 0+000 und 2+750 wurde auf sichere Seite liegend ein Wasserspiegel 2 m über GOK am Dammfuß angesetzt, jeweils zwischen Station 2+750 und 4+300 wird der Wasserspiegel 1 m über GOK angesetzt.

In einem Abstimmungsgespräch mit dem Berater des Antragstellers Herrn Prof. Strobl am 04.08.2014 wurde folgender Umgang mit dem Lastfall "Innrückstau" festgelegt:

- Zur Untersuchung der Auswirkungen des Innrückstaus wird der Lastfall 2.1i eingeführt. Als Rückstau wird der unterstromige Wasserspiegel der Staustufe Eggfing im Lastfall BHQ2 angesetzt.
- Falls sich zeigt, dass die Ausnutzung im betrachteten Lastfall durch einen luftseitigen Einstau größer wird, soll dieser Lastfall als Regellastfall in alle betroffenen Staudämme mit aufgenommen werden. Falls sich zeigt, dass ein luftseitiger Innrückstau die Standsicherheit nicht oder positiv beeinflusst, wird in den anderen Bemessungssituationen der Innrückstau auf der "sicheren Seite" liegend nicht angesetzt.

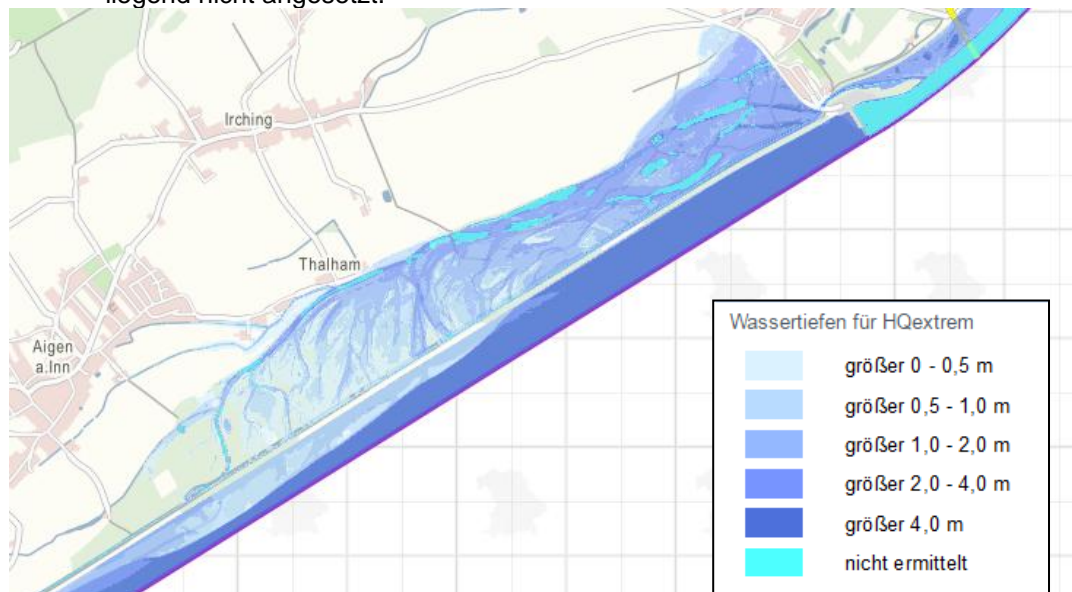


Abbildung 7 - Auszug aus Überschwemmungsgefahrenkarte für HQ_{extrem} [16]

4.2.4 Lastfall 2.2

Gemäß LfU-Merkblatt Nr. 5.2/5 [7] ist der Lastfall 2.2 (schnellstmögliche Stauspiegelabsenkung) zu betrachten. Gemäß [7] ist auch festgelegt, dass die Wasserspiegelabsenkungen auf betriebliche Maßnahmen zu begrenzen sind. Versagensszenarien wie z.B. ein Dambruch bleiben in diesem Lastfall unberücksichtigt.

Aus betrieblichen Gründen kann nach Angabe des Kraftwerksbetreibers eine schnelle Wasserspiegelabsenkung nicht stattfinden. Auf eine Berechnung der Standsicherheit im LF 2.2 kann daher verzichtet werden, da gewährleistet ist, dass die Absinkgeschwindigkeit des Innwasserspiegels somit kleiner ist, als der kf-Wert des Dammschüttmaterials.

4.2.5 Lastfall 3.1 (Kronenstau)

Der Lastfall „Kronenstau“ repräsentiert eine Extremsituation. Dieser gegebenenfalls bis zur Damm-/Deichkrone reichende Wasserstand ist im Kontext zur Risikobetrachtung abzuhandeln. Dazu sollten die entsprechenden Regelungen in DIN 19700 Teil 10 (Nr. 11) und Teil 11 (Nr. 7.2.6) Anwendung finden. Konstruktive Zuschläge für die Damm- bzw. Deichhöhe (z. B. Wühltierzone, Wegebau, Schutzschicht für Innendichtungen) bleiben bei diesem Lastfall unberücksichtigt.

Der Wasserspiegel für den Lastfall "Kronenstau" wird in Abhängigkeit der Wasserspiegel für BHQ_1 und BHQ_2 in Kap. 5.3 ermittelt.

4.2.6 Lastfall 3.2 (Schadstellen)

Gemäß [7] muss im Lastfall 3.2 die „eingeschränkte Wirkung von Dichtung und Dränung“ betrachtet werden. Für den Ansatz einer eingeschränkten Wirkung der Dichtung wurden in Einklang stehen mit dem Bemessungsprozess aus Oberstrom liegenden Anpassungsmaßnahmen folgende Fehlstellen im Dichtungselement angesetzt:

- Etwa auf halber Dammhöhe, wird eine Fehlstelle in der Oberflächendichtung mit einer in Längsrichtung des Damms durchgehenden Breite von 0,5 Meter definiert.
- Falls auf der Wasserseite eine Untergrundabdichtung (z.B. Schmal- oder Spundwand) angeschlossen ist, wird zusätzlich im Anschlussbereich zur Untergrundabdichtung eine Fehlstelle mit in Längsrichtung durchgehender Breite von 0,5 m angesetzt.
- Die Materialbelegung der Fehlstelle erfolgt entsprechend dem angrenzenden Dammmaterial.

Insgesamt liegen diese Annahmen weit auf der sicheren Seite gegenüber allen bisher beobachteten Schadstellen am Inn, Donau, etc..

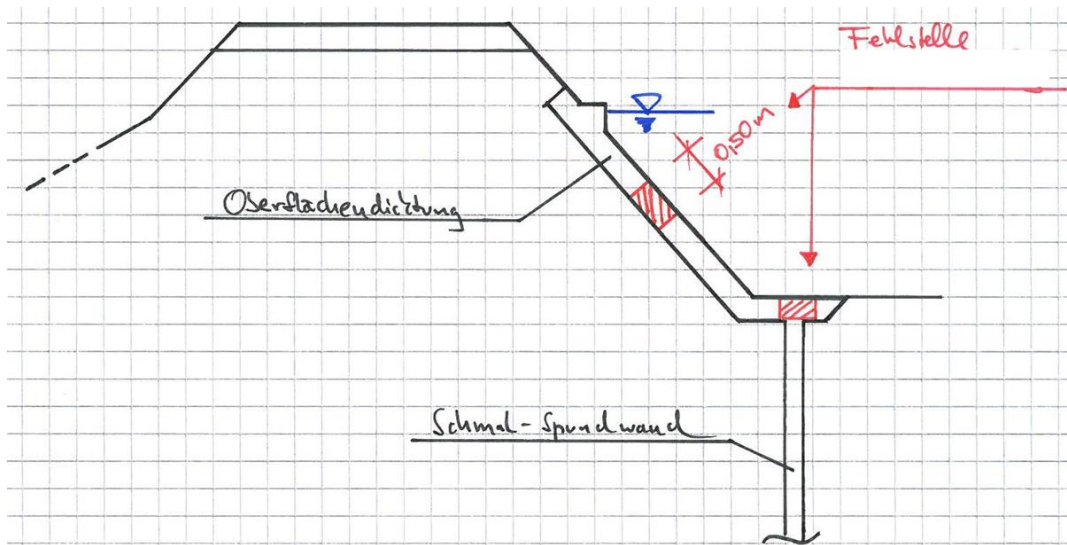


Abbildung 8 Schema zur Berücksichtigung von Fehlstellen in den Dichtungselementen

Die obere Fehlstelle wird i.d.R. auf halber Höhe zwischen Dammaufstandsfläche und Dichtungsoberkante angesetzt. Sollte sie in diesem Fall durch eine Anlandung teilweise oder gänzlich bedeckt sein, wird die Fehlstelle so nach oben verschoben, dass die Unterkante der Fehlstelle und die Oberkante der Anlandung auf gleicher Höhe liegen.

Für die eingeschränkte Wirkung der Drainage wird ein Ersatz- k_f -Wert gebildet, der dem Mittelwert der k_f -Werte aus Drainage und umgebenden Boden entspricht. Ein Ausfall des Entwässerungsgrabens wird nicht angesetzt, es ist aber für alle Lastfälle auf der sicheren Seite liegend bordvoll angesetzt. Ein Ausfall der Dammfußdrainage wird angesetzt, in dass das Sickerrohr als nicht Ableitungsfähig angesetzt wird.

4.2.7 Verkehrslasten

Gemäß [7] sind die Verkehrslasten auf die Annahme planmäßiger Lasten zu begrenzen. Außerplanmäßige Lasten (z.B. bei Katastropheneinsätzen) bleiben unberücksichtigt.

Die Verkehrslast wird auf dem Stauhaltungsdamm gemäß Abbildung 9 angesetzt.

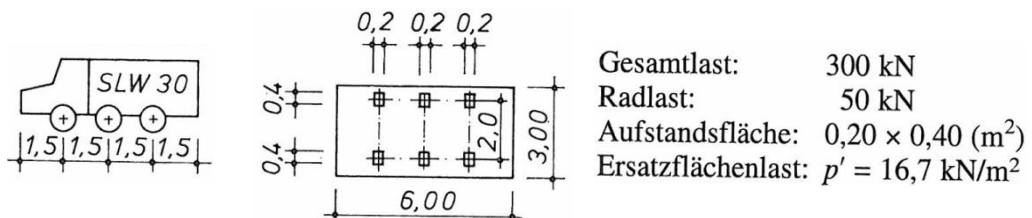


Abbildung 9 Verkehrslast für einen SLW 30

Die Zugänglichkeit der Dämme wird planmäßig im Hochwasserfall BHQ₂ auf 5 kN/m² beschränkt. Im Lastfall "Kronenstau" wird diese planmäßig gänzlich eingeschränkt.

5 Abflüsse und Wasserspiegellagen

5.1 Bemessungswasserspiegel

Die für den Nachweis der Anlagensicherheit maßgebenden Hochwasserabflüsse sind das 100-jährliche Hochwasserereignis (HQ_{100} , BHQ_1) und das 1.000-jährliche Hochwasserereignis ($HQ_{1.000}$, BHQ_2).

Die gemäß Anlage 2 (Hydraulische Untersuchung) ermittelten Wasserspiegellagen sind in den Längsschnitten der Anlage 8.3 dargestellt. Den Berechnungen liegen gemäß Vorgabe vom Landesamt für Umwelt folgende Abflüsse zu Grunde:

- HQ_{100} , BHQ_1 (n-a)-Fall = 6.360 m³/s
- HQ_{1000} , BHQ_2 (n)-Fall = 8.160 m³/s

5.2 Freibord

Die vorhandenen Freiborde in Bezug auf die Wasserspiegellagen BHW_1 (n-a)-Fall und BHW_2 (n)-Fall ist in Anlage 8.6.1 dargestellt. Der kleinste vorhandene Freibord am Staudamm Eggling beträgt 1,46 m im Lastfall BHQ_1 und 0,53 m im Lastfall BHQ_2 .

Der kleinste vorhandene Freibord am Staudamm Mühlheim beträgt 1,45 m im Lastfall BHQ_1 und 0,58 m im Lastfall BHQ_2 .

Der kleinste vorhandene Freibord am Staudamm Ache beträgt 1,63 m im Lastfall BHQ_1 und 0,34 m im Lastfall BHQ_2 .

Die Staudämme weisen damit gegenüber dem Bemessungswasserspiegel BHW_1 einen deutlich größeren Freibord als der i. d. R. geforderte Freibord von 1,0 m auf. Auch im Lastfall BHQ_2 liegt der vorhandene Freibord deutlich über den gemäß LfU-Merkblatt Nr. 5.2/5 erforderlichen Mindestfreibord von 0,3 m. Eine Dammerhöhung ist somit nicht erforderlich.

5.3 Ermittlung des Wasserstandes im Lastfall „Kronenstau“

Im LfU-Merkblatt Nr. 5.2/5 [7] heißt es:

„Kronenstau“ entspricht einem Wasserstand bei Inanspruchnahme des hydraulisch erforderlichen Freibords f_1 oder f_2 aus Windstau und Wellenauflauf aber ohne konstruktive oder sonstige Zuschläge (z. B. Überschüttung von Dichtelementen, frostfreier Aufbau von Deich-kronenwegen, Wühltier- und Setzungszonen). Der Nachweis ist für beide Hochwasserbemessungsfälle zu führen, der ungünstigere Wert wird maßgebend ($Z_{H1} + f_1$ oder $Z_{H2} + f_2$).

Da Fließwellen sich auch „stehend“ d.h. vergleichbar mit einem konstant höheren Wasserspiegel ausbilden können, werden diese zusätzlich für die Ermittlung des Lastfalls Kronenstau herangezogen.

Der maßgebende Wasserstand für den Lastfall Kronenstau ergibt sich gem. LfU-Merkblatt Nr. 5.2/5 somit aus dem Maximum folgender Ansätze:

- $ZH_1 + f_1$ (Windstau und Wellenaufbau nach DVWK-M 246)
- $ZH_2 + f_2$ (Mindestfreibord = 0,3 m)
- $\max. (ZH_1; ZH_2) + \text{Fließwellenhöhe}$

5.3.1 Windstau und Wellenaufbau

Gemäß DVWK-Merkblatt 246/1997 ergibt sich gemäß der Berechnung in Anlage 8.6.2 ein hydraulisch erforderlicher Freibord aus Windstau und Wellenaufbau von 1,05 m an den Stauanlagen der Staustufe Eggfing-Obernberg.

5.3.2 Mindestfreibord bei BHQ₂

Gemäß LfU-Merkblatt Nr. 5.2/5 beträgt der einzuhaltende Mindestfreibord 0,3 m für die Ermittlung des Lastfalls Kronenstau.

5.3.3 Fließwellenhöhe

Da Fließwellen sich auch „stehend“ vergleichbar mit einem konstant höheren Wasserspiegel ausbilden können, werden diese zur Ermittlung des Lastfalls Kronenstau herangezogen. Die Berechnung der Fließwellenhöhe zur Ermittlung des Wasserstandes im Lastfall „Kronenstau“ erfolgt nach [12] mit $v^2 / 2 \cdot g$. Zur Berücksichtigung eventuell zusätzlicher Windeinflüsse (Windstau) wird ein Zuschlag in Höhe von 20 % berücksichtigt.

Gemäß den hydraulischen Berechnungen (siehe Anlage 2) liegen die Fließgeschwindigkeiten im Lastfall BHQ₂ im Uferbereich (im Abstand bis ca. 10 Meter zu den Stauanlagen) zwischen 1 und 2,7 m/s.

Bei der Berechnung der Fließwellenhöhe wird eine Fließgeschwindigkeit von 2,7 m/s berücksichtigt. Somit ergibt sich eine Fließwellenhöhe unter Berücksichtigung des Windzuschlags von $1,2 \cdot 2,7^2 / 2 \cdot 9,81 = 0,45$ m.



Abbildung 10 Fließgeschwindigkeiten [m/s] Stauraum Eggfling-Obernberg, BHQ₂

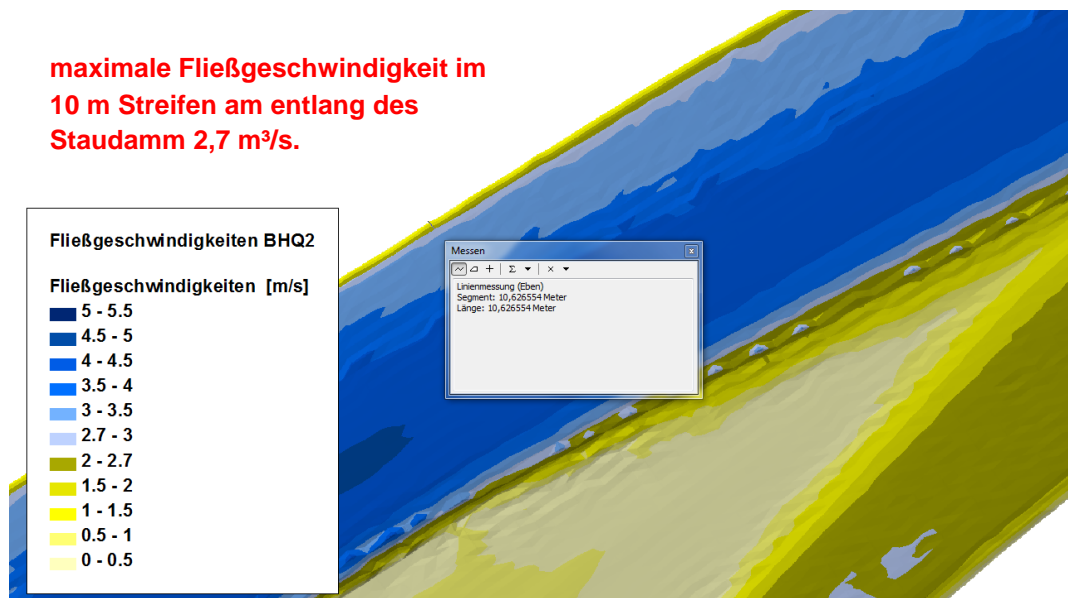


Abbildung 11 Fließgeschwindigkeiten [m/s] Staudamm Eggfling, BHQ₂

Zur Verifikation des gewählten Ansatzes, wird die Fließwellenhöhe mit Ergebnissen aus anderen Projekten verglichen.

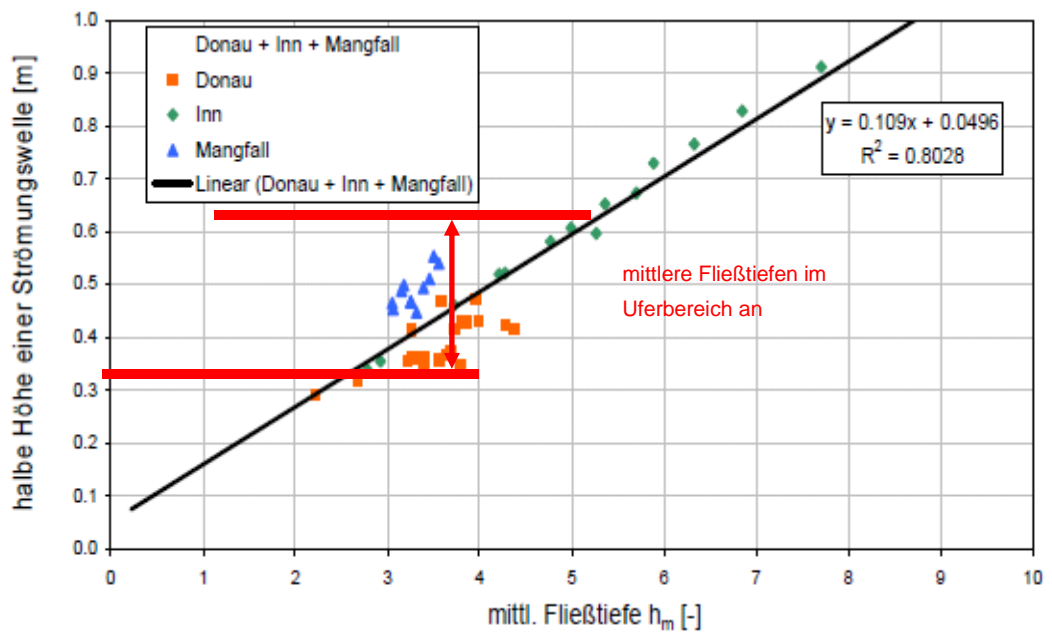


Abbildung 12 Auswertungen TU-München zu Fließwellen an bayerischen Flüssen

Die obenstehende Grafik stammt aus Auswertungen der TU-München (veröffentlicht unter [18]). Rot dargestellt, sind die mittleren Fließtiefen im Uferbereich der dabei untersuchten Stauanlagen. Der Ansatz einer halben Fließwellenhöhe von 0,45 m ist demnach angemessen. In Flussmitte ist natürlich mit wesentlich höheren Fließwellen zu rechnen. Diese sind aber nicht relevant für die Bestimmung des Kronenstaus an den Stauanlagen bzw. Deichen.

Der maßgebende Wasserspiegel für den Lastfall Kronenstau ergibt somit nach der Fließwellenbetrachtung mit $Z_{H2} + 0,45$ m.

5.3.4 Maßgebender Wasserspiegel im Lastfall "Kronenstau"

Der je Stauanlage maßgebende Wasserspiegel im Lastfall "Kronenstau" wird in Anlage 8.6.1 als das Maximum folgender beider Ansätze berechnet:

- $Z_{H1} + 1,05$ m
- $Z_{H2} + 0,45$ m

Die entsprechenden Wasserspiegel sind in den Längsschnitten der Anlage 8.3 dargestellt.

6 Durchsickerungsberechnungen

6.1 Allgemeines

Aus den beschriebenen Randbedingungen (Geometrie, Bodenkennwerte, Wasserspiegel etc.) wurden Modelle zur Berechnung der Porenwasserdrücke und Sickerlinien mittels

FE-Methode erstellt. Die Berechnungen wurden mit dem Programm SS-Flow 2d Version 10.8 Fa. GGU mbH erstellt.

Ein Einströmen in das Modell findet sowohl über die Flusssohle, als auch über den An-schnitt am wasserseitigen Modellrand statt. Die Wahl dieser Randbedingung ist eine gute Näherung, um mit einem kompakten FE Modell den breiten Flussschlauch des Inns abzubilden.

Das Ausströmen findet im Sickergraben auf die Höhe der nebenstehenden Geländeoberkante (GOK) sowie am luftseitigen Modellrand auf GOK statt (Sickergraben bordvoll angesetzt).

6.2 Ergebnisse Durchsickerungsberechnungen

Die Ergebnisse der Berechnungen finden sich in Anlage 8.7.

7 Nachweise

7.1 Nachweise gegen Böschungsbruch

7.1.1 Allgemeines

Die Nachweise gegen Böschungsbruch wurden mit dem Programm GGU-Stability Version 11.6 der Fa. GGU mbH geführt.

Die Nachweise befinden sich an Anlage 8.8.

7.1.2 Vorgehensweise der Berechnungen

Die Vorgehensweise der Berechnungen war wie folgt:

1. Berechnung der Sicherheit gegen Böschungsbruch in den für die Standsicherheit relevanten Lastfällen für den Bestand.
2. Konnte für alle Lastfälle ohne Anpassungsmaßnahmen der Nachweis gegen Böschungsbruch (Ausnutzung < 1) erbracht werden, wurden die Untersuchungen gegen Böschungsbruch abgeschlossen, und die weiteren Nachweise (Geohydraulik) geführt.
3. Konnte die Standsicherheit an mindestens einem Lastfall nicht nachgewiesen werden, wurde eine weitere Verteilung der Regelquerschnitte festgelegt (mehrere und detaillierte Berechnungsquerschnitte).
4. Konnte für alle Lastfälle ohne Anpassungsmaßnahmen der Nachweis gegen Böschungsbruch (Ausnutzung < 1) erbracht werden, wurden die Untersuchungen gegen Böschungsbruch abgeschlossen, und die weiteren Nachweise (Geohydraulik) geführt.
5. Konnte die Standsicherheit an mindestens einem Lastfall nicht nachgewiesen werden, wurden Anpassungsmaßnahmen festgelegt.

6. Anschließend wurden alle Lastfälle unter Berücksichtigung der gewählten Anpassungsmaßnahmen nachgewiesen.

7.1.3 Anpassungsmaßnahmen

Die gewählten und erforderlichen Anpassungsmaßnahmen werden nachfolgend kurz beschrieben und sind im Querschnitt der Anlage 8.3.3 dargestellt.

Zur Gewährleistung einer ausreichenden Standsicherheit gegen Böschungsbruch, muss ein ausreichender Widerstand gegen das Abrutschen bestehen. Dies kann durch einen Aufschüttung des Dammhinterweges erreicht werden.

Im Detail werden somit folgende Anpassungsmaßnahmen erforderlich:

BQ-SD-EGG-8 - Fkm: 45,242 - 45,860

- Aufschüttung des Dammhinterweges um 50 cm;

BQ-SD-EGG-9 - Fkm: 44,289 - 45,373

- Aufschüttung des Dammhinterweges um 50 cm;

7.1.4 Ergebnisse der Nachweise gegen Böschungsbruch

Staudamm Egglfing

Mit den gewählten Anpassungsmaßnahmen konnte der Stauhaltungsdamm Egglfing in allen Lastfällen nachgewiesen werden (Ausnutzung < 1).

Staudamm Mühlheim - Wasserseite

Die Berechnungen im Istzustand zeigen, dass bei allen Querschnitten außer MÜHL-1 und MÜHL-4 der Nachweis der Standsicherheit für die Böschung der Wasserseite erbracht werden kann.

Bei MÜHL-1 und MÜHL-4 kann der Nachweis der wasserseitigen Böschung im Lastfall 1 bei berechneten Ausnutzungen von 1,09 und 1,10 nicht erbracht werden.

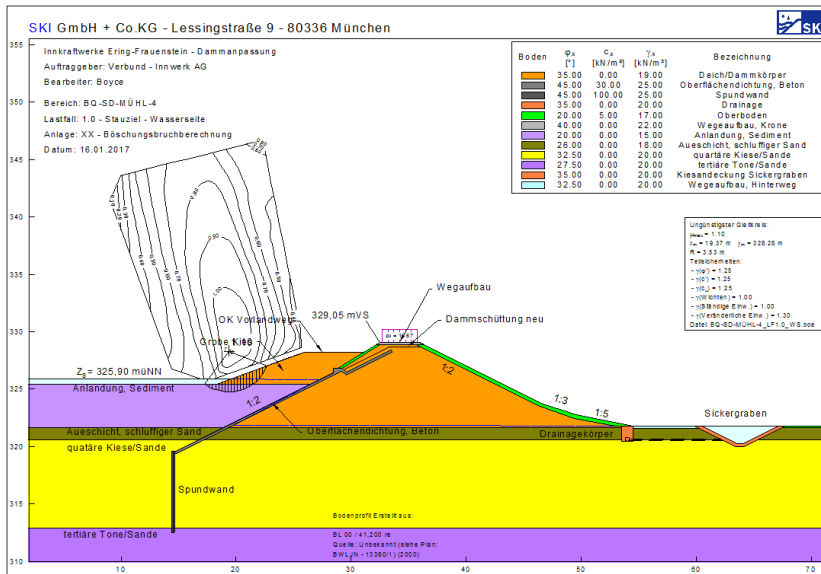


Abbildung 13 Istzustand Mühl-4, Lastfall 1

Aus Sicht des Erstellers der Standsicherheitsnachweise kann jedoch aus folgenden Gründen auf Anpassungsmaßnahmen verzichtet werden:

- Die Berechnungen berücksichtigen nicht den in nachfolgender Abbildung dargestellten inneren Aufbau mit Steinsätzen der Vorlandberme. Bei einem Ansatz der Steinsätze würden sich Ausnutzungen kleiner 1,0 ergeben.
- Seit der Herstellung der Vorlandberme im Jahr 1999 wurden keine Böschungsruhrschungen an der Berme festgestellt.
- Ein Abrutschen der Böschung würde nicht direkt zu einem vollständigen Versagen des Stauhaltungsdamms führen. Abrutschungen würden im Rahmen des Unterhalts festgestellt und könnten jederzeit repariert werden.

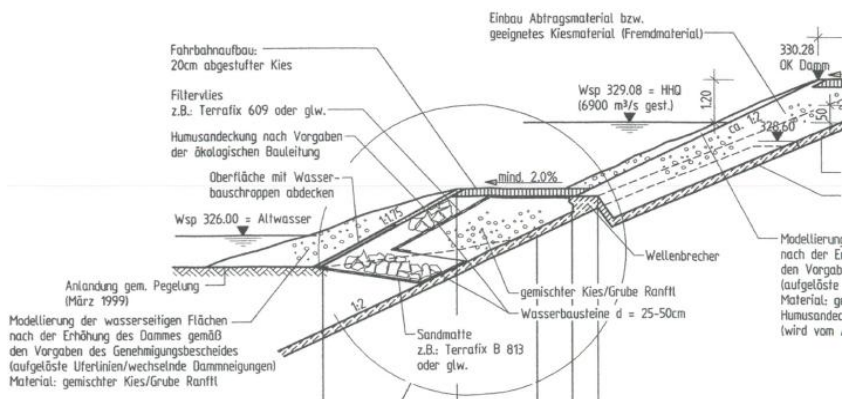


Abbildung 14 Sanierung Staudamm Mühlheim 1999

Staudamm Mühlheim - Luftseite

Die Berechnungen im Istzustand zeigen, dass bei allen Querschnitten außer MÜHL-6 der Nachweis der Standsicherheit für die Böschung der Wasserseite erbracht werden kann.

Beim Querschnitt MÜHL-6 ergibt sich im Lastfall 3.1 Kronenstau eine Ausnutzung von 1,05. Aus Sicht des Erstellers der Standsicherheitsuntersuchung und in Abstimmung mit dem Anlagenbetreiber aus folgenden Gründen auf Anpassungsmaßnahmen verzichtet werden:

- Die Berechnung beruht auf einer stationären Sickerlinienberechnung, die im Vergleich zur Realität bei dem entsprechend seltenen und sehr großen Hochwasserereignis welches dem Lastfall "Kronenstau" zu Grund liegt deutlich auf der "sicheren Seite" liegt.

Staudamm Ache

Der Staudamm Ache kann im Bestand nachgewiesen werden.

Die Ergebnisse der einzelnen Berechnungen sind in der Übersicht in Anlage 8.8.4 dargestellt.

7.2 Nachweis gegen Gleiten

7.2.1 Berechnungsannahmen & Hinweise

Zur Berechnung der Gesamtstandsicherheit, wird eine Gleitfuge in der Damm- bzw. Deichaufstandsfläche betrachtet. In dieser Fuge wird der Nachweis gegen Gleiten geführt.

Der Nachweis wird für den Damm an dem Querschnitt mit der maximalen Dammhöhe und der steilsten Böschung geführt. Liegen die maximale Dammhöhe und die steilste Böschung an unterschiedlichen Querschnitten vor, werden beide Querschnitte zusammengefasst nachgewiesen.

Der Nachweis im LF 1.0 kann entfallen, da der Wasserspiegel im LF 1.1 bei identischen Teilsicherheitsbeiwerten höher ist.

Die Nachweise im Lastfall 3.2.1 und 3.2.2 können jeweils entfallen, da im Lastfall 3.1 bei identischen Teilsicherheitsbeiwerten höhere Wasserspiegel vorhanden sind.

Ein Wasserstand auf der Luftseite (Rückstau) wird bei allen Querschnitten auf der sicheren Seite liegend (wirkt rückhaltend) vernachlässigt.

Zur Ermittlung des Eigengewichts des Dammkörpers wird in Höhe des Wasserstands im Inn eine horizontal verlaufende Grenze im Damm zwischen wassergesättigter und ungesättigter Zone definiert. Diese Annahme liegt auf der sicheren Seite, da die Sickerlinie in Realität in Richtung Luftseite abfällt, und damit ein geringerer Anteil des Dammes mit der Wichte unter Auftrieb gerechnet werden müsste. Das Eigengewicht wirkt sich günstig auf den Nachweis aus.

Der Einfluss der Untergrundabdichtung am wasserseitigen Böschungsfuß wird auf der sicheren Seite liegend vernachlässigt. Zur Ermittlung der rückhaltenden Kräfte ist der Reibungswinkel in der Dammaufstandsfläche maßgebend.

7.2.2 Nachweisübersicht

Eine ausreichende Sicherheiten gegen Gleiten kann an allen Dämmen und Deichen in allen Lastfällen nachgewiesen werden (Ausnutzung $< 1,0$). Die Ergebnisse der einzelnen Berechnungen sind in Anlage 8.9.4 Nachweisübersicht Gleiten dargestellt. Die einzelnen Nachweise finden sich in den Anlagen. 8.9.1 bis 8.9.3.

7.3 Nachweise der Sicherheit gegen Materialtransport

7.3.1 Allgemeines

In Anlehnung an [8] werden folgende Nachweise der Sicherheit gegen Materialtransport geführt:

- Suffosion innerhalb des Erdstoffs: Die Überprüfung erfolgt anhand eines hydraulischen Kriteriums.
- Erosionsgrundbruch: Die Überprüfung erfolgt anhand eines globalen, empirischen Kriteriums.
- Kontakterosion: Die Überprüfung erfolgt anhand eines Filterkriteriums.

7.3.2 Suffosion innerhalb eines Erdstoffes

7.3.2.1 Eingangswerte

Nach dem Merkblatt „Standicherheit von Dämmen an Bundeswasserstraßen (MSD)“ [19] sowie dem Fachbuch „Geohydraulik“ [18] kann für Erdstoffe mit einem Korn-durchmesser von $d_{10} > 0,002$ mm auf Grund der mangelnden kohäsiven Eigenschaften der Feinteile Materialtransport durch Suffosion nicht von vorne herein ausgeschlossen werden. Dieser Grenze trifft alle die zu untersuchende Sieblinien. Daher werden an allen verfügbaren Sieblinien in den Schichten bzgl. der Suffosionsanfälligkeit untersucht.

Der vorhandene, maximale Gradient der zu untersuchenden Schicht, wurde den Durchsickerungsberechnungen der Anlage 8.7 entnommen. Dieser ermittelte Gradient wurde für die Nachweise an den Sieblinien der jeweiligen Schicht zugrunde gelegt.

7.3.2.2 Ergebnisse und Nachweisübersicht

Eine ausreichende Sicherheit gegen Suffosion kann nicht nachgewiesen werden. Allerdings sind die Mengen des transportierten Bodenmaterials ($< 3\%$) als unbedenklich nach [9] einzustufen.

Die Ergebnisse der einzelnen Berechnungen sind je Schichtpaket in den Anlage 8.10.1.1 bis 8.10.1.3 dargestellt. Eine Übersicht über die Ergebnisse der Nachweise befindet sich in Anlage 8.10.1.4 zusammen mit einer Abschätzung des zu erwartenden transportierten Bodenmaterials.

7.3.3 Nachweis der Sicherheit gegen Erosionsgrundbruch

7.3.3.1 Allgemeines

Der Nachweis erfolgt mit dem in [8] angegebenen Verfahren nach Chugaev. Für dieses Verfahren wird ein globaler, mittlerer hydraulischer Gradient ermittelt, und dieser mit den kritischen Gradienten des Dammschüttmaterials verglichen. Bei diesem Verfahren wird die vorhandene Untergrundabdichtung nicht berücksichtigt. Damit liegen die Ergebnisse für LF 1.1, 2.1 und 3.1 deutlich auf der sicheren Seite, und auf einen Nachweis für LF 3.2.1 kann verzichtet werden.

7.3.3.2 Ergebnisse

Eine ausreichende Sicherheit gegen Erosionsgrundbruch kann mit dem stark auf der sicheren Seite liegenden und überschlägigen Verfahren nach Chugaev nachgewiesen werden. Die maximale Ausnutzung aller Proben beträgt 99 %.

Die Ergebnisse der einzelnen Berechnungen sind je Damm in den Anlagen 8.10.2.1 bis 8.10.2.3 dargestellt. Eine Übersicht über die Ergebnisse der Nachweise befindet sich in Anlage 8.10.2.4.

7.3.4 Nachweis der Sicherheit gegen Kontakterosion

Der Nachweis der Sicherheit gegen Kontakterosion erfolgt nach dem in [8] angegebenen Verfahren nach Witt. Der vorgeschlagene Nachweis basiert auf einem Kriterium zur Filterbemessung.

Die Nachweisführung erfolgt global über den gesamten Stauhaltungsdamm. Dies bedeutet, dass aus allen vorhandenen Sieblinien die Parameter für den Nachweis wie folgend angesetzt wird.

$\max d_{X_{\text{Filter}}} = 80$. Quantil alle Sieblinie des Filterstoffes

$\min d_{X_{\text{Basis}}} = 20$. Quantil alle Sieblinie des Basiserdstoffes

wobei X = geförderte Siebdurchgang (%) aus Tabelle 4

Aus den vorliegenden Sieblinien der vorhandenen Böden, werden die für den Nachweis relevanten Parameter für den Basiserdstoff (hier: Auelehmschicht) und Filterstoff (hier: Dammschüttung/Quartär) ermittelt. Für den Basiserdstoff liegen insgesamt 13 und für den Filter 26 Sieblinien vor.

Tabelle 4 Tabelle 5 aus [8]

Ungleichförmigkeit des Filters			
	$U_F \leq 3$	$3 < U_F \leq 6$	$U_F > 6$
$d_{5F} < 0,5 \text{ mm}$	$\frac{\max d_{30F}}{\min d_{95B}} \leq 2,5$	$\frac{\max d_{10F}}{\min d_{95B}} \leq 2,5$	$\frac{\max d_{5F}}{\min d_{95B}} \leq 2,5$

$d_{5F} \geq 0,5 \text{ mm}$	$\frac{\max d_{30F}}{\min d_{85B}} \leq 2,5$	$\frac{\max d_{10F}}{\min d_{85B}} \leq 2,5$	$\frac{\max d_{5F}}{\min d_{85B}} \leq 2,5$
------------------------------	--	--	---

Für den Filterstoff (hier: Dammschüttung/Quartär) ist in allen Proben die Ungleichförmigkeitszahl $U_F > 4$ (nur bei eine Sieblinie liegt die Ungleichförmigkeitszahl unter 12). Die Korngröße des Filterstoffes bei einem Siebdurchgang von 5 % liegt in den 26 Proben unter 0,5 mm. Um die Filterstabilität der beiden Schichten nachzuweisen, muss nach Tabelle 4 folgendes Kriterium erfüllt werden:

$$\frac{\max d_{10F}}{\min d_{95B}} \leq 2,5$$

Aus den Sieblinien wurde für Staudamm Eggfling ermittelt:

$$\max d_{10F} \approx 0,344 \text{ mm}$$

$$\min d_{95B} = 0,14 \text{ mm}$$

Das o.g. Kriterium ist demnach mit $0,344 / 0,14 = 2,46 \leq 2,5$ erfüllt.

Aus den Sieblinien wurde für Staudamm Mühlheim / Ache ermittelt:

$$\max d_{10F} \approx 0,52 \text{ mm}$$

$$\min d_{95B} = 0,31 \text{ mm}$$

Das o.g. Kriterium ist demnach mit $0,52 / 0,31 = 1,68 \leq 2,5$ erfüllt.

7.4 Nachweis gegen Aufschwimmen der Deckschicht

7.4.1 Allgemeines

Unterhalb der Damm- bzw. der Deichaufstandsfläche liegt i.d.R. eine bindige Auelehmschicht mit variierender Schichtstärke bzw. Tiefe vor. Im Hochwasserfall muss nachgewiesen werden, dass der im Grundwasserleiter anstehende hydrostatische Druck nicht zu einem sog. „Aufschwimmen“ der Auelehmschicht führt.

Der vorhandene hydrostatische Druck unterhalb der bindigen Schicht wurde den Durchsickerungsberechnungen entnommen.

7.4.2 Ergebnisse

Die Ergebnisse der einzelnen Berechnungen sind je Damm in den Anlagen 8.11.1 bis 8.11.3 dargestellt. Eine Übersicht über die Ergebnisse der Nachweise befindet sich in Anlage 8.11.4.

7.5 Nachweis der Sicherheit gegen hydraulischen Grundbruch

7.5.1 Allgemeines

Eine vertikal nach oben gerichtete Strömung kann zu einem hydraulischen Grundbruch führen. Für die Nachweise gegen hydraulischen Grundbruch sind der hydraulische Gradient in der zu untersuchenden Schicht und die Wichte unter Auftrieb maßgebend.

Für jeden Lastfall unter Berücksichtigung der Teilsicherheitsbeiwerte¹ wird der Nachweis des hydraulischen Grundbruchs geführt.

7.5.2 Ergebnisse

Die Ergebnisse der einzelnen Berechnungen sind je Damm in den Anlagen 8.12.1 bis 8.12.3 dargestellt. Eine Übersicht über die Ergebnisse der Nachweise befindet sich in Anlage 8.12.4.

8 Zusammenfassung

Aus den festgelegten Randbedingungen wurden Berechnungsquerschnitte gebildet. Nach der Durchführung der Nachweise für den Istzustand wurden unter Berücksichtigung naturschutzfachlicher und wirtschaftlicher Aspekte Anpassungsmaßnahmen festgelegt. Mit Berücksichtigung der erforderlichen Anpassungsmaßnahmen kann die normgerechte Standsicherheit für den Stauhaltungsdämme der Staustufe Eggfing-Obernberg statisch nachgewiesen werden.

Die erforderlichen Anpassungsmaßnahmen sind ausführlich im Kapitel 7.1.3 beschrieben.

¹ Die Teilsicherheitsbeiwerte werden gem.[6] bei diesem Nachweis unterschieden zwischen „günstiger“ und „ungünstiger“ Baugrund. Für locker gelagerten Sand / Feinsand / Schluff bzw. weichen bindigen Böden, müssen die Teilsicherheitsbeiwerte für „ungünstigen“ Untergrund angesetzt werden. Da teilweise weiche Böden vorhanden sind, wird auf der sicheren Seite liegend für den Nachweis der „ungünstige“ Untergrund in Ansatz gebracht.